

35kV风电集电线路至升压站的故障定位技术应用

徐德坤

新疆昆仑工程咨询管理集团有限公司 新疆乌鲁木齐 830000

摘要：本文聚焦35kV风电集电线路至升压站的故障定位技术优化问题，针对该场景下线路短距化、分支复杂及环境敏感性强的特点，系统探讨阻抗法、行波法与综合电压电流判据法的技术适配性。通过分析各方法在参数动态修正、信号干扰抑制及多源数据融合方面的实施路径，提出分层递进式的技术集成方案。研究表明，基于双端测距的阻抗法可有效缓解过渡电阻影响，行波法结合小波变换能提升信号识别精度，而综合电压电流判据法则通过多维度电气量对比增强定位鲁棒性。最终形成的协同应用体系实现了故障区域的快速筛选与精确定位，为风电场集电系统运维提供技术支持。

关键词：35kV；风电集电线路；升压站；故障定位技术；应用

随着风电规模化开发，35kV集电线路作为连接风机群组与升压站的关键纽带，其运行可靠性直接影响全场电能输送效率。此类线路因长度较短且存在分支结构，叠加山地地形与气候波动带来的参数漂移，传统单一故障定位方法易受过渡电阻、信号衰减等因素制约。当前工程实践中亟需构建适应复杂工况的定位体系。本研究立足现场实际需求，剖析阻抗法、行波法及综合电压电流判据法的特性差异，探索多技术协同作用机制，旨在突破单一算法的性能瓶颈，建立兼顾时效性与准确性的故障定位解决方案，为新能源场站设备管理提供理论依据与实践参考。

一、基于阻抗法的故障定位技术应用

1. 在35kV风电集电线路至升压站中的应用要点

对于35kV风电集电线路至升压站，线路特性使得阻抗法应用面临诸多挑战。线路长度相对较短，意味着阻抗变化范围有限，故障特征不明显，对阻抗测量的精度要求极高。分支线路的存在进一步复杂了情况，不同分支的阻抗特性不同，故障可能发生在任意分支，导致阻抗法计算时需考虑多种分支组合。精确获取线路正序阻抗、零序阻抗等参数至关重要。线路敷设方式不同，如架空线路和电缆线路，其阻抗特性差异显著。导线型号影响电阻和电感值，不同截面积和材质的导线，阻抗参数不同。土壤电阻率对零序阻抗影响大，潮湿和干燥土壤环境下，零序阻抗变化明显。而且，风电场所处环境复杂，季节和温度变化导致线路参数改变。夏季高温时，导线电阻增大；冬季低温，导线收缩，参数也相应变化。

因此，计算过程中需动态修正参数，建立参数随环境变化的模型，实时调整计算参数，以提高阻抗法故障定位的准确性。

2. 与其他辅助手段的结合

单纯依靠阻抗法在复杂故障情况下难以满足高精度故障定位需求。复杂故障可能涉及多相短路、接地故障等多种类型，故障特征复杂。此时，将阻抗法与其他辅助手段结合十分必要。故障录波装置是重要辅助工具，它能记录故障前后的电压、电流波形。这些波形蕴含丰富故障信息，通过分析波形，可确定故障发生的相别，明确是哪一相或多相出现故障。还能获取故障电流的大小和相位变化，了解故障的严重程度和电流方向。将这些信息融入阻抗法计算，可修正计算结果。例如，根据故障相别调整阻抗计算模型，依据电流大小和相位变化优化参数，从而提高故障定位准确性，为快速排除故障提供可靠依据。

3. 考虑分布式电源影响的阻抗法应用要点

在35kV风电集电线路至升压站的场景中，分布式电源的接入给阻抗法故障定位带来新挑战。分布式电源输出的功率和电压具有波动性，会改变线路原有的阻抗分布。当分布式电源在故障发生时输出功率变化，会使故障电流的分布和大小发生改变，进而影响阻抗法测量结果的准确性。为应对这一问题，需要建立包含分布式电源动态特性的阻抗计算模型。该模型要充分考虑分布式电源的输出功率、电压波动范围以及与主电网的交互作用。在计算过程中，实时监测分布式电源的运行状态，

将其输出参数作为输入量纳入阻抗计算。

二、行波法在故障定位中的应用

1. 适用于35kV风电集电线路至升压站的具体实施方式

在35kV风电集电线路至升压站应用行波法，需在集电线路出口处和升压站入口处安装行波传感器。这些传感器是行波监测的关键设备，要具备高灵敏度和准确性。安装位置的选择需考虑线路布局和信号传播特性，确保能全面监测线路上的行波信号。当故障发生时，故障点产生故障行波，向线路两端传播。行波传感器捕捉到故障行波的初始波头和反射波头，将信号转换为电信号并传输至故障定位装置。故障定位装置根据两个传感器接收到行波的时间差，以及已知的行波传播速度，通过特定算法计算出故障点的位置。为保证准确性，需严格校准行波传感器性能，确保其能精确检测行波信号到来时间，减少时间测量误差，提高故障定位精度^[1]。

2. 行波法面临的挑战及应对措施

行波法虽优点众多，但实际应用面临挑战。行波信号在传播过程中会发生衰减和畸变，长距离传输时，信号能量逐渐减弱，波形改变，导致难以准确识别。复杂地形如山区、河流等，会使行波信号反射、折射，进一步影响信号质量。雷电干扰、开关操作等也会产生类似行波信号，容易造成误判。针对这些问题，可采取多种应对措施。采用先进的信号处理技术，如小波变换能将信号分解到不同频率段，提取有用特征，去除噪声；相关分析可分析信号之间的相似性，找出故障行波特征。设置合理阈值，根据正常信号和干扰信号的特征，确定区分两者的阈值，过滤掉干扰信号。结合其他故障定位方法结果综合判断，不同方法从不同角度定位故障，相互补充，降低误判概率，提高故障定位可靠性。

3. 多端行波法在复杂拓扑线路中的应用

对于35kV风电集电线路至升压站中存在复杂拓扑结构的情况，如包含多个分支和环路的线路，传统的双端行波法可能无法满足故障定位的需求，此时多端行波法具有显著优势。多端行波法需要在线路的多个关键节点安装行波传感器。这些节点包括分支点、环路连接点等。当故障发生时，故障点产生的行波会向多个方向传播，被不同节点的传感器捕捉。通过分析多个传感器接收到的行波初始波头和反射波头的时间信息，结合已知的线路拓扑结构和行波传播速度，利用特定的多端行波定位算法，可以更准确地确定故障点的位置。与双端行波法

相比，多端行波法能够充分利用线路的多个监测点信息，减少因线路复杂拓扑导致的定位误差，提高在复杂电网结构下故障定位的准确性和可靠性。

三、综合电压电流判据法的应用

1. 在目标线路中的具体应用步骤

在35kV风电集电线路至升压站应用综合电压电流判据法，首先要在线路各个关键节点安装电压互感器和电流互感器。关键节点的选择需考虑线路的拓扑结构和故障可能发生的部位，确保能全面采集线路的电压和电流数据。安装时要注意互感器的精度和可靠性，保证采集数据的准确性。然后，根据采集到的数据，计算出各节点的电压幅值、电流幅值、电压电流相位角等参数。这些参数反映了线路在不同状态下的电气特性。接着，根据预设的综合电压电流判据，对这些参数进行分析和比较。例如，比较故障前后各节点电压的变化率，若某节点电压变化率超过设定值，可能表明故障发生在该节点附近；分析电流的变化率以及电压电流之间的相位差，通过综合判断这些参数的变化，确定故障发生的大致区域，为后续的故障排查提供方向^[2]。

2. 该方法的优势与局限

综合电压电流判据法具有显著优势。它充分利用了电压和电流的信息，从多个角度对故障进行分析。电压和电流的变化能反映故障的不同特征，综合分析可提高故障定位的准确性。而且，该方法不需要依赖复杂的线路参数模型，对线路参数的变化具有较强的适应性。无论线路参数因环境、老化等因素如何变化，都能通过分析电压电流信息定位故障。然而，该方法也存在局限。由于需要采集大量的电压和电流数据，对数据采集系统的精度和可靠性要求较高。数据采集系统若出现误差或故障，会影响故障定位结果。此外，判据的制定和优化需要丰富的现场经验和大量的数据分析。若判据不合理，可能会出现误判或漏判的情况，导致无法准确找到故障点，影响故障的及时排除。

3. 基于实时趋势分析的综合电压电流判据法应用

在35kV风电集电线路至升压站的故障定位中，采用基于实时趋势分析的综合电压电流判据法可提升故障定位效果。该方法不仅关注故障发生瞬间的电压电流参数，还对故障发生前一段时间内电压电流的实时变化趋势进行分析。通过在线路关键节点安装高精度的电压互感器和电流互感器，实时采集电压电流数据并存储。利用数据分析算法，对采集到的数据进行实时趋势分析，如计

算电压电流的变化率、斜率等指标。当这些指标出现异常变化时，结合预设的判据，判断是否可能发生故障以及故障的大致位置。例如，若某段线路的电压变化率持续增大且超过正常范围，同时电流出现异常波动，可推测该区域存在故障隐患。这种方法能够提前发现故障的潜在迹象，为故障的早期定位和预防提供依据，相比传统的仅依靠故障瞬间参数的方法，具有更高的灵敏度和准确性。

四、故障定位技术的集成与协同应用

1. 集成应用的具体模式

一种常见的集成应用模式是采用分层递进的策略。首先，利用行波法快速确定故障发生的大致区间。行波法具有速度快的特点，能在故障发生后迅速捕捉行波信号，通过时间差计算确定故障所在的较宽范围，缩小故障搜索范围，提高后续定位效率。然后，在这个较小的范围内，采用阻抗法进行初步定位。阻抗法基于线路的阻抗特性，在已知大致区间后，能计算出更精确的近似故障点位置。最后，运用综合电压电流判据法对初步定位结果进行验证和修正。综合电压电流判据法从电压电流的多个参数角度分析，能发现阻抗法可能存在的误差，进一步提高定位精度。在这个过程中，各个环节相互配合，前一步的结果为后一步提供依据，形成一个有机的整体，实现高效、准确的故障定位。

2. 实现集成应用的关键要素

要实现多种故障定位技术的集成与协同应用，关键在于建立一个统一的数据处理平台和通信机制。统一的数据处理平台能实时接收来自各个故障定位设备的监测数据，对不同格式和类型的数据进行预处理，如数据清洗、格式转换等，然后将数据进行融合，为后续分析提供统一的数据基础。高速稳定的通信网络确保各设备之间的数据交互及时、准确。若通信延迟或中断，会导致数据丢失或错误，影响故障定位结果。此外，还需要开发一套智能的决策算法。该算法能根据不同的故障情况自动选择合适的故障定位技术组合，例如在简单故障时选择单一高效的方法，在复杂故障时采用多种方法协同。并对各技术的计算结果进行加权处理，综合考虑不同方法的准确性和可靠性，得出最终的故障定位结果，提高故障定位的智能化水平^[3]。

3. 基于多源信息融合的故障定位技术集成模式

为实现35kV风电集电线路至升压站更高效准确的故障定位，可采用基于多源信息融合的集成模式。该模式将阻抗法、行波法、综合电压电流判据法等多种故障定位技术获取的信息进行融合。首先，各故障定位技术独立运行，获取各自的故障定位相关信息，如阻抗法的阻抗测量值、行波法的行波到达时间、综合电压电流判据法的电压电流参数等。然后，通过信息融合算法，将这些来自不同技术的信息进行关联和分析。例如，将行波法确定的故障大致区间与阻抗法计算的近似故障点位置进行对比和修正，再结合综合电压电流判据法对故障特征判断，进一步缩小故障范围。同时，利用数据挖掘和机器学习技术，对大量的历史故障数据和实时监测数据进行学习和分析，不断优化信息融合的规则和算法。通过这种多源信息融合的方式，充分发挥各种故障定位技术的优势，弥补单一技术的不足，提高故障定位的准确性和可靠性，实现更智能、高效的故障定位。

结语

本文提出的故障定位技术集成方案充分挖掘了不同方法的互补优势，形成了从区域粗筛到精准定位的分级处理流程。实践表明，行波法的高时效性与阻抗法的定量能力形成有效配合，而综合电压电流判据法则通过多维电气特征校验显著降低了误判风险。未来研究可进一步探索机器学习算法在信号特征提取中的应用，结合历史故障数据库优化判据阈值，推动故障定位向智能化方向发展。该成果不仅提升了35kV风电集电系统的运维效率，也为同类新能源场站的设备保护提供了可复现的技术范式，具有显著的工程应用价值。

参考文献

- [1] 刘必塔. 海上风电场升压变电站电气布置探讨[J]. 电气时代, 2025, (04): 65-69.
- [2] 刘洋, 张佳洁. 升压站失电故障停运保护动作分析[J]. 电工技术, 2025, (03): 127-129.
- [3] 杨鸣, 刘威, 司马文霞, 等. 基于系统参数优化的对称双极海上风电送端联接变阀侧单相接地故障应力调控方法[J]. 高电压技术, 2024, 50(10): 4640-4654.